사업용 화물자동차 운행특성에 따른 위험운전행동 및 교통사고 위험도 분석 연구

A Study on the Analysis of Dangerous Driving Behavior and Traffic Accident Risk according to the Operation Characteristics of Commercial Freight Vehicles

박 진 수* · 이 수 범** · 박 준 태***

* 주저자 : 한국교통안전공단 광주전남지부 연구위원
** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수
*** 교신저자 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 연구교수

Jin soo Park* · Soo beom Lee** · Jun tae Park***

* Gwangju Jeonnam Division, Korea Transportation Safety Authority
** Dept. of Transportation Engineering, UNIVERSITY OF SEOUL
*** Dept. of Transportation Systems Engineering, University of Transportation Korea

† Corresponding author : Jun tae Park, pjt724@ut.ac.kr

Vol. 21 No.2(2022)
April, 2022
pp.152~166

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.2.152

Received 22 January 2022
Revised 18 February 2022
Accepted 17 March 2022

ⓒ 2022. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

본 연구에서는 본 연구에서는 사고원인 및 예방이론을 적용하여 사업용 화물자동차의 운행특성과 위험운전행동 및 교통사고 위험성 간의 인과관계를 분석하였다. 사업용 화물자동차 운전자 303명을 대상으로 운전자별 근무특성, 운전경력, 운전능력, 운전심리, 차량특성(크기), 위험운전행동, 교통사고와 관련된 자료를 수집하였으며 근무특성 및 위험운전행동에 관한 자료는 운전자가 제출한 디지털운행기록을 활용하고 교통사고 자료는 실제 교통사고를 반영하기 위해 보험사고 자료를 활용하였다. 다수의 독립변수와 종속변수 간의 인과관계를 동시에 분석하기 위해 구조방정식 모형을 구축하고 모형 적합도 지수를 활용하여 모형을 검증하였다. 4가지 위험운전행동(급감속, 급가속, 급추월, 급정지)이 교통사고와 연관성이 높은 그룹으로 분석되었다. 소형 화물자동차, 운전능력이 부족한 운전자, 위험운전행동이 많은 운전자에 대한 안전관리 대책 마련 및 집중관리가 필요한 것으로 판단된다.

핵심어 : 사업용화물자동차, 디지털운행기록, 구조방정식 모형, 위험운전행동, 교통사고

ABSTRACT

This study analyzed the causal relationship among operating characteristics of commercial freight vehicles, dangerous driving behaviors, and traffic accident risk. The study applied the existing accident cause and prevention theory to arrive at this relationship. Data related to working characteristics of driver, driving experience, driving ability, driving psychology, vehicle characteristics (size), dangerous driving behavior, and traffic accidents were collected from 303 commercial freight vehicle drivers. Working characteristics and dangerous driving behavior data are based on the driver's digital driving record. The traffic accident data is based on the insurance accident data reflecting actual traffic accidents. First, a structural equation model was built and verified using the model fitness index. Then, the developed model was used to analyze the causal relationship between multiple independent and dependent variables simultaneously. Four dangerous driving behaviors

(sudden deceleration, sudden acceleration, sudden passing, and sudden stop) were found to be highly related to traffic accidents. The results further indicate that it is necessary to establish a safety management policy and intensive management for small-sized freight vehicles, drivers with insufficient driving ability, and drivers with dangerous driving behaviors. Such policy and management are expected to reduce traffic accidents effectively.

Key words : Commercial freight vehicle, Digital tachograph, Structural equation model, Dangerous driving behavior, Traffic accident

Ⅰ. 서 론

사업용 화물자동차는 개별적 운행관리를 실시하고 있으며 지자체 및 중앙정부에서는 이에 대한 실태파악이 미흡하여 실효성 있는 화물자동차 교통안전대책 수립에 어려움이 따르고 있다. 교통사고분석시스템(TAAS)에 의하면 화물자동차(일반화물, 개별화물, 용달화물) 집계 교통사고는 2012년~2020년 동안 연평균 6,028건, 219명의 사망자가 발생하였으며 매년 우리나라 전체 교통사고건수의 13%, 사망자수 28%의 점유율 수준으로 나타나고 있다. 지속적인 물동량 증가, 화물자동차 통행량 및 주행거리 증가, 대형사고 증가 우려에 따른 전반적인 문제점 파악 및 그에 대한 대책 마련이 필요한 실정이며 화물자동차 운전자 및 운행여건에 대한 기초적 실증 분석이 필요하다.

본 연구에서는 화물자동차(일반화물)의 교통사고 위험도에 영향을 미치는 요인을 규명하기 위해 화물자동차 운행기록정보와 운전자 정보, 자동차 정보, 교통사고 정보 등을 수집하여 각 변수들이 위험운전행동 및 교통사고 위험성에 미치는 영향을 구조방정식 모형을 통해 분석하였다. 이를 바탕으로 화물자동차 교통사고 위험성에 영향을 미치는 요인을 살펴보았다. 분석자료로 근무특성, 운전능력, 운전심리, 운전경력, 차량특성, 위험운전행동, 교통사고 자료를 활용하였으며 구조방정식 모델을 통해 영향관계를 살펴보고자 한다.

Ⅱ. 선행연구 고찰

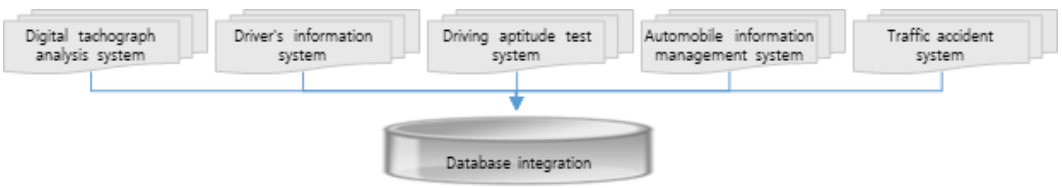
운전자 근무특성에 관한 연구로 Amundsen and sagberg(2003)는 설문조사를 통해 주행시간이 늘어나면 운전행태가 저하되고, 화물차 운전자의 약 절반 수준이 졸음운전 위험이 증가하는 것으로 제시하였으며 lin et al.(1993)은 화물자동차 운전의 안전성을 평가하기 위해 운행시간에 따른 교통사고 확률을 추정한 결과 운전시간은 사고위험에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 제시하였다. Lee(2014)은 사업용 차량 운전자 중 강변북로 구간(16km)을 운행하는 법인택시 운전자를 대상으로 디지털운행기록정보 145건을 추출하여 운전지속시간에 따른 가·감속행태를 분석한 결과 3~4시간 이상 연속 운행시 이상값이 크게 증가하는 것으로 분석하여 연속운행시간 기준 및 근로시간 규정 필요성을 언급하였으며 유사 연구로 Chen and Xie(2014)는 운전시간과 휴식시간은 운전자의 피로와 밀접한 관련이 있다고 보았다. 운전심리에 관한 연구로 Alavi et al.(2016)은 신경증만 있어도 교통범죄의 확률은 1.1배가 증가하는 것으로 나타나 정신 질환은 교통 위반에 영향을 미칠 수 있다는 점을 제시하였으며 Gulliver and begg(2007)는 청소년들의 위험운전행동과 교통사고 관계를 분석한 결과 공격성이 충돌사고와 관련성이 있으며, 소외감은 부상사고와 연관성이 있는 것으로 제시하였다. Choi and Jung(2011)은 교통사고를 일으킨 고령운전자(50세 이상)의 운전행동 특성파악을 위해 운전적성정밀검사 자료를 분석한 결과, 고령운전자가 비고령 운전자에 비해 속도예측능력, 속도 동요도, 선택반응속도, 선택반응 부

문에서 운전능력이 떨어지는 것으로 분석하였다.

<Table 1> Results of analysis in previous studies

Dimension	Researcher	Dependent variables	Independent variables	Collected data
Working characteristics	Amundsen and sagberg(2003)	Sleepy driving	Driving time, sleeping time	Survey
	Lin et al.(1993)	Risk of accidents	Age, driving experience, driving time	Driving log
	Lee(2014)	Dangerous behaviors (Acceleration&deceleratation)	driving time	Driving record device
	Chen and Xie(2014)	Traffic accidents	Driving time, break time	Survey
	Jo(2013)	Traffic accidents	Perception fatigue, vehicle size, smoking and drinking, breakfast	Survey
	Won(2020)	Traffic accident Risk index	traffic safety investment, driving time, safety awareness, rest time, etc.	Statistical data
Driving skills	Crundall et al.(2002)	Driving attention	Driving experience.	Driving Simulator
	Choi et al.(2011)	Result of the driving aptitude test	Speed prediction, selection response speed, selection response error	Driving aptitude test
Driving psychology	Alavi et al.(2017)	Violation of the law	Depression, anxiety, mental illness.	Survey
	Kwon(2014)	Dangerous driving behaviors	Emotional level, cognitive ability	Survey
	Gulliver and Begg (2007)	Dangerous driving behaviors Traffic accidents	Aggression, traditionalism, alienation	Survey
	Seo(2015)	Dangerous driving behaviors	Deviation, mistake, violation.	Survey

기존연구의 경우 대부분 운전자를 대상으로 설문조사 방법을 사용하였으며 단기간 수집자료에 의존, 객관적 자료 활용의 한계점이 따르고 있다. 또한 개별변수(연령, 주행시간 등)와 사고의 관련성 분석이 충분히 이루어지지 못하고 있다. 교통사고는 다수요인에 의해 복합적으로 발생한다는 점을 고려시 각 요인들간의 종합적인 관계분석에 한계가 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 화물차동차 운행특성 및 위험운전행동, 교통사고 위험성의 관계분석을 위해 종합적 DB를 구축·분석 하였다.



<Fig. 1> The concept of data integration

수집된 자료를 바탕으로 데이터 가공을 통해 휴게시간 위반, 1일 최대 운행시간 등 교통안전과 관련된 새로운 변수를 생성하여 영향변수로 활용하였다. 분석 방법으로는 구조방정식 모형을 이용하여 운전자의 근로특성, 운전능력, 운전심리, 운전경력 등 운전자 특성, 위험운전행동과 교통사고와의 인과관계를 분석하였다. 이는 기존 설계자의 편견이 삽입될 수 있는 설문조사 및 단편적 데이터 분석 연구와 다르게 종합적 접근을

시도한 것으로 기존 설문조사 및 실험 테스트에 비해 분석자료의 현실성과 객관성이 확보되며 분석 결과의 신뢰성을 높일 수 있는 장점이 있다.

Ⅲ. 분석 자료 수집

1. 자료 수집

화물자동차 운전자별 분석자료DB는 한국교통안전공단의 운행기록분석시스템, 운수종자사관리시스템, 운전적성정밀검사시스템, 자동차관리정보시스템, 화물공제조합의 사고조사시스템에서 추출·통합하였다. 운행기록분석시스템(eTAS)은 화물자동차 디지털운행기록장치(DTG, Digital Taco Graphic)의 운행실태기록DB를 관리하는 시스템으로 주행속도, 과속, 급가감속, 급좌우회전, 급출발, 급정지, 급유턴, 급 진로변경, 브레이크 신호 등의 행위 로그가 기록된다. 운수종사자관리시스템은 개별 운수종사자의 인적정보와 교통사고 및 법규위반정보, 범죄경력정보(경찰청 연계) 및 취업이력을 종합 관리하는 시스템으로 전반적인 경력정보를 확인할 수 있다. 운전적성정밀검사시스템은 운전자의 운전능력과 운전심리를 검사하는 시스템으로 지각운동요인, 지적능력요인, 적응능력요인을 검사하며 일정기준 이상 점수를 획득(화물자동차운송사업법 제8조)하여야 화물자동차 운전을 허가하는데 활용되고 있다. 자동차전산등록정보시스템은 국토교통부(한국교통안전공단)에서 운영하며 차령, 총중량, 적재중량, 차체길이, 차체너비, 차체높이, 축개수, 배기량 등의 정보가 전산화되어 있다. 교통사고 위험성과 관련된 법규위반 및 교통사고에 대한 정보는 운수종사자 관리시스템을 통해서는 파악이 가능하나 경찰기록사고(인사사고)로 한정되어 보다 상세한 사고자료를 획득하고자 화물공제조합의 교통사고 정보를 활용하였다.

<Table 2> Driving aptitude test - Criteria for judgment

Classification	Judgment level					Unit
	1	2	3	4	5	
Speed prediction capability	≤48	<48~≤72	<72~≤112	<112~≤162	>162	Pixel
Stop distance prediction	≤111	<111~≤170	<170~≤248	<248~≤352	>352	
Ability to Attention Transition	≤969	<969~≤1,159	<1,159~≤1,434	<1,434~≤1,856	>1,856	ms
Ability to allocate attention	≥31	30~29	28~24	23~10	≤9	# of positive reactions
Ability to select attention	≥31	30~27	26~23	22~19	≤18	
Distance perception ability	≤5	<5~≤10	<10~≤19	<19~≤46	>46	mm
Cognitive abilities	≥13	10~12	6~9	4~5	≤3	# of correct answers
Perceptual tendency	≥16	11~15	6~10	5	≤4	

운전자별 모든 추출 변수는 2017년 자료로 통합하였으며 운전자 고유 key값을 기준으로 통합하였다. 운행기록분석시스템에 등록된 화물자동차 운행기록분석자료에서 배차정보가 포함된 자료는 총 1,797명으로 차량제원정보를 동시에 조사하였다. 이 중 운전자의 근무 특성을 파악하기 위해 최소 6개월 이상 근무 및 유효 운전적성정밀검사를 확인할 수 있는 364명이 추출되었다. 화물자동차는 차량을 교체하게 되면 기존의 차량번호를 사용하게 되어 차량번호만으로는 2017년 당시 운행한 차량인지를 알 수 없어 차령정보를 활용하여

2017년 이후 등록되어 운행 중인 차량은 분석 대상에서 제외하였으며 운전경력 등 인적정보가 누락된 자료를 제외 후 최종 303명을 분석대상으로 선정하였다. 마지막으로 개인 별 근무강도, 운전능력, 운전심리, 운전경력, 차량특성, 위험행동, 사고현황의 측정변수 DB를 구축하였다. 위험운전행동 및 운전적성정밀검사는 국토교통부 검사관리규정에 따른 등급 판정 결과를 사용하였다. 위험운전행동의 과속의 경우 도로 제한속도보다 20km/h 초과 운행, 급가속은 초당 11km/h 이상 가속 운행, 급정지는 초당 7.5km/h 이상 감속하여 속도가 0이 된 경우이며 운전적성정밀검사 판정기준은 운전적성정밀검사 장비를 이용하여 각 항목별 1~5등급으로 판정, 등급이 높을수록 검사결과가 좋지 않은 것으로 규정하고 있다.

2. 분석DB 구축 결과

운전자 근무일수는 월평균 21.8일, 화물자동차의 월평균 주행거리는 7.6천km를 주행한 것으로 나타났다. 이는 출발지에서 도착지까지 주행한 거리로 고속도로, 도시부도로 등 모든 주행구간을 포함한 기록자료이다. 월평균 운행시간은 174.3시간이었으며, 2시간 연속운행이 포함이 일수는 월평균 8.7일, 4시간 연속운행이 포함된 일수는 평균 2.4일로 분석되었다. 총 운전경력은 평균 19.1년으로 나타났으며 사업용 운전경력의 경우 평균 8.1년, 운수회사 평균 재직기간은 2.5년으로 나타났다. 운전능력(등급)의 경우 1등급에서 5등급의 값을 갖게 되며, 등급 평균의 경우 속도예측 2.3, 정기거리 예측 2.2, 주의전환 2.4, 거리지각 2.4 등급으로 나타났다. 또한 주의배분 1.7, 주의선택 1.6, 인지능력 1.8, 지각성향은 2.0로 나타났다. 운전심리(등급)의 경우, 현실성 1.3, 사회성 1.4, 정서성 1.4으로 나타나 운전능력 항목보다 평가 결과가 우수한 것으로 나타났다.

<Table 3> Data Base Construction for Structural Equation Modeling

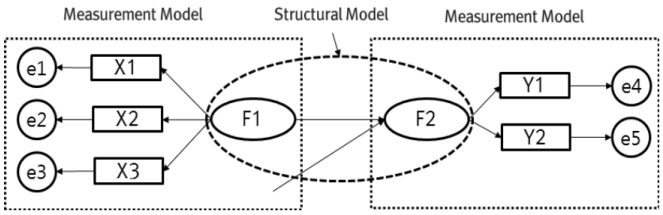
Data source	Factor classification	Collection variables	Average	Standard deviation	Unit
Digital tachograph analysis system	Working characteristics	Ave. # of working days per month	21.8	3.4	Num./Month
		Ave. mileage per month	7.6	3.5	1,000km/Month
		Ave. operating time per month	174.3	69.8	Hour/Month
		Ave. number of trips per month	59.2	48.8	Num./Month
		Ave. # of operating days per month for more than 2hours	8.7	6.6	Day/Month
		Ave. # of operating days per month for more than 4hours	2.4	3	Day/Month
		Ave. # of operating days per month exceeding 9hours based	6.6	5.7	Day/Month
	Dangerous driving behavior characteristics	# of speeding per 100km of driving distance	7.1	4.8	Num./100km
		# of rapid accelerations per 100km of driving distance	11.8	17.7	Num./100km
		# of sudden departures per 100km of driving distance	4.1	5.1	Num./100km
		# of rapid decelerations per 100km of driving distance	4.5	5.7	Num./100km
		# of sudden stops per 100km of driving distance	1.4	2.8	Num./100km
		# of sudden left turns per 100km of driving distance	0.9	1.3	Num./100km
		# of sudden right turns per 100km of driving distance	1.1	1.5	Num./100km
		# of sudden U-turns per 100km of driving distance	0.07	0.2	Num./100km
		# of sudden overtakings per 100km of driving distance	1.2	2.5	Num./100km
		# of sudden change of lane per 100km of driving distance	9.3	15.9	Num./100km
Driver's information system	Driving experience characteristics	Driver age	48.3	8.2	Year
		Total driving experience	19.1	8.6	Year
		Business driving experience	8.1	5.9	Year
		Ave. period of employment per company	2.5	1.7	Year/company

<Table 3> Data Base Construction for Structural Equation Modeling (continuation)

Data source	Factor classification	Collection variables	Average	Standard deviation	Unit
Driving aptitude test system	Driving ability characteristics	Speed prediction capability	2.3	0.9	Rank(1-5)
		Stop distance prediction	2.2	0.8	Rank(1-5)
		Ability to Attention Transition	2.4	0.9	Rank(1-5)
		Ability to allocate attention	1.7	0.9	Rank(1-5)
		Ability to select attention	1.6	0.8	Rank(1-5)
		Distance perception ability	2.4	1	Rank(1-5)
		Cognitive abilities	1.8	0.9	Rank(1-5)
		Perceptual tendency	2	0.9	Rank(1-5)
	Driving psychology characteristics	Reality	1.3	0.7	Rank(1-5)
		Sociability	1.4	0.7	Rank(1-5)
		Emotionality	1.4	0.7	Rank(1-5)
Traffic accident system	Traffic law violation characteristics	# of violations (years)	0.1	0.4	Num./Year
		Traffic penalty points (years)	1.6	5.2	Point/Year
	Traffic accident characteristics	# of accidents (years)	0.2	0.7	Num./Year
		Damage scale (years)	0.4	1.2	Num./Year
		Damage costs (years)	0.9	4.3	10 million won/Year

3. 구조방정식 모델

본 연구에서는 구조방정식 모델(Structural equation modeling : SEM)을 활용하여 화물자동차의 운행특성에 따른 교통사고 위험도를 분석하였다. 구조방정식은 잠재변수(Latent Variable)와 관측변수(Observed Variable), 외생변수(Exogenous), 내생변수(Enogenous Varibable), 측정오차(Measuremet error) 및 구조오차(Structual error)로 구성이 된다. 구조방정식 모형은 종속변수에 영향을 미치는 여러 변수 간에 인과관계를 찾고 해석할 수 있는 통계적 기법이며, 변수의 증감에 따른 종속변수에 영향의 방향과 크기를 설명할 수 있는 특징이 있다. 구조방정식은 인과분석이 가능하며 측정변수와 잠재요인간 측정모형(Measurement Model), 잠재요인간 이론모형(Structural Model)을 구축하여 인과분석을 수행한다. 모형의 적합도 지수로는 수집된 자료와 모델이 부합되는 정도를 절대적으로 평가하는 절대적합지수(absolute fit index)로 CMIN(χ^2), GFI, RMR, SRMR, RMSEA가 있으며 null 모형에 비해 얼마나 적합도가 높은가를 평가하는 증분적합도 지수(incremental fit indices)로 NIF, CFI 등이 활용된다.



<Fig. 2> Structual Equation Model

<Table 4> model fit index

Dimension	Range	Criteria for suitability
CMIN(χ^2) (Minimum chi-square)	-	It's good to have a low number
GFI (Goodness-of-Fit Index)	0~1	More than 0.9
AGFI	0~1	More than 0.9
RMR (Root Mean Square Residual)	0~1	0.05~0.1 is appropriate
RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)	0~1	Less than 0.05
NORMED χ^2(CMIN/df)	-	3.0 or lower is acceptable
NFI ((Normed-fit index)	0~1	More than 0.9
CFI (Comparative Fit Index)	0~1	More than 0.9

Ⅳ. 분석 결과

1. 탐색적 요인분석 결과 및 측정모형 구축

구조방정식 모델 개발 전 요인구조 탐색 및 내적일관성 검토를 탐색적 요인분석을 실시하였다. 요인추출 방법은 주성분분석(principal component analysis) 요인회전은 베리멕스 방식을 사용하였으며 적합성(구형성) 검증 결과 P ≤ 0.05, KMO(0.689) > 0.5 값을 충족하고 있어 요인분석 결과는 수용할 만한 수준으로 나타났으며 코롬바흐 알파(Cronbach's α) 계수는 기준값 0.6이상인 것으로 나타나 신뢰성이 있다고 판단된다.

<Table 5> Results of KMO and Bartlett's Test

Dimension		Value
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy		.689
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	9636.495
	df	990
	Sig.	.000

<Table 6> Results of Reliability Test

Dimension	observation variables	Cronbach's α
Working characteristics	4	.604
Driving experience	3	.654
Driving capability	3	.654
Driving psychology	3	.709
Vehicle Characteristics	7	.789
Dangerous driving behavior	5	.595
Traffic accident risk	3	.601

<Table 7> Results of Exploratory factor analysis

Dimension	Component													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vehicle weight	.961	-.087	.029	-.052	-.016	.047	-.011	-.067	-.042	.010	-.128	.065	.002	-.038
Carrying capacity	.893	-.022	-.022	-.007	-.005	.050	-.004	-.129	-.094	.053	-.221	.125	-.001	-.072
Engine displacement	.873	-.068	.125	-.068	-.080	.051	.000	.039	-.023	-.010	.205	-.022	.012	.022
length of the vehicle	.831	-.181	.064	-.229	.001	.025	-.050	.115	.065	-.060	.078	-.086	.007	.058
Axis of the vehicle	.823	-.054	-.030	-.039	.052	.013	-.045	-.127	-.028	.037	-.396	.119	-.031	-.050
Width of the vehicle	.660	-.174	.075	-.163	-.045	-.029	.054	.181	.061	-.016	.361	-.223	.105	.046

<Table 7> Results of Exploratory factor analysis (continuation)

Dimension	Component													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Height of the vehicle	.626	-.219	.236	-.186	.019	.085	-.052	.128	.118	-.078	.225	-.101	-.021	.197
# of rapid deceleration	-.195	.849	-.120	.086	.093	-.081	.093	-.010	-.028	.043	-.041	.093	-.001	-.061
# of rapid acceleration	-.269	.757	-.037	.062	.014	.024	-.003	-.060	-.036	-.052	-.057	.038	.063	-.037
# of sudden stops	-.027	.666	-.011	.163	-.008	.008	-.062	.057	.037	.077	.248	.076	-.186	.124
# of sudden departures	-.020	.657	-.008	.311	-.044	.077	.050	-.052	-.014	-.062	.222	-.147	.000	.171
# of sudden departures	-.093	.655	-.201	-.341	.140	-.098	.088	.108	.042	.022	-.302	-.110	.051	-.097
# of sudden passing	-.050	.475	-.299	-.410	.278	-.126	.069	-.009	.060	.056	-.400	-.111	.055	-.019
Monthly driving times	.087	-.124	.922	.077	.004	.126	-.072	-.004	-.015	-.083	-.057	-.011	-.006	.061
More than 9 hours per month	.281	-.083	.820	-.079	.011	.001	.026	-.034	.017	-.025	-.225	.063	.028	.005
Monthly number of trips	.085	-.055	.771	.177	-.145	-.232	-.051	.066	.014	-.039	.179	-.092	.093	.004
Monthly working days	-.186	-.086	.682	.256	.031	.324	-.078	.079	.010	-.044	.107	.047	-.113	-.128
# of sudden right turns	-.254	.090	.059	.859	.035	.104	-.086	.074	-.030	.042	-.015	.016	.021	.055
# of sudden left turns	-.238	.114	.074	.851	.024	.086	-.074	.049	-.040	.027	-.006	.016	-.054	.099
# of sudden U-turns	.055	.155	.255	.496	-.046	-.122	.122	.048	-.018	-.030	-.142	.002	-.114	-.157
# of over speeding	-.209	-.036	.097	.458	-.130	.078	.052	.156	-.002	-.061	.017	-.226	.341	-.286
Scale of traffic accident damage	-.003	.052	-.031	-.036	.958	-.049	.006	-.048	.023	-.004	-.002	.033	.013	-.011
# of traffic accidents	-.018	.080	-.046	-.082	.914	-.064	.056	-.073	.016	.002	-.047	.035	.046	.014
Traffic accident damage costs	-.030	.010	.000	.062	.860	.045	.039	-.025	-.023	-.014	.008	.025	-.044	-.01
Monthly number of 2hours more operating days	.068	-.014	.053	.057	-.022	.953	-.035	.080	-.026	-.053	.055	-.022	.014	.051
Monthly number of 4hours more operating days	.105	-.076	-.062	-.048	-.088	.628	-.025	.035	.047	-.065	.098	.027	.195	-.247
Driver's Perceptual tendencies	-.066	.017	-.057	-.010	-.025	.066	.767	.070	-.075	.057	.022	.069	-.068	.128
Driver's cognitive ability	.066	.110	-.058	-.052	.059	.068	.741	.072	-.013	.100	.055	.090	-.042	.146
Driver's attention ability	-.058	-.013	.008	-.013	.038	-.184	.665	-.045	.069	.021	-.015	.062	-.041	-.126
Driver age	.055	.003	-.051	-.007	.080	-.025	.520	.436	.006	.004	-.036	.197	.415	.064
Freight Vehicle - driving experience	.063	-.049	.058	.047	-.092	.070	.099	.843	-.045	.015	.039	.076	-.021	.026
Period of employment	-.052	.065	.025	.134	-.081	.188	-.017	.791	-.065	.034	.197	-.033	-.116	.042
Driving experience	-.068	-.040	-.002	.025	.047	-.139	.390	.421	-.049	.065	-.211	.039	.398	.012
# of violations of the law	-.015	-.031	.014	-.017	.018	-.051	-.019	-.041	.959	-.046	.000	.049	-.056	.000
Traffic penalty points	-.002	.023	-.003	-.069	-.004	.010	.001	-.055	.958	-.013	-.063	.033	-.020	.034
Realistic level	-.020	-.021	-.029	-.018	-.011	-.048	.160	-.031	.048	.811	.145	-.022	.085	.017
Emotion level	.001	.013	-.020	.055	-.058	-.027	.090	.148	-.089	.809	.030	.099	.014	-.017
Social skills level	.001	.031	-.091	-.036	.048	-.049	-.062	-.062	-.017	.715	-.104	-.133	-.031	-.023
Vehicle age	-.066	.134	-.106	-.101	.002	.179	.061	.207	-.099	.102	.571	.083	.096	-.163
Ability to Attention Transition	-.059	.069	-.014	-.014	.105	-.060	.341	.013	.053	-.092	.083	.688	.099	.093
Ability to allocate attention	.026	-.028	-.019	.032	-.028	-.038	.091	.534	.053	-.049	.012	.642	.025	.183
Monthly driving distances	.184	-.158	.194	-.392	.096	.222	.094	-.052	.097	.145	-.127	.402	-.068	-.284
Distance perception ability	-.081	.031	.007	.047	-.013	-.058	.246	.178	.138	-.026	-.171	-.099	-.700	-.003
Speed prediction ability	.042	.034	-.019	.032	-.014	.013	.102	.083	-.003	-.059	-.040	.124	-.007	.707
Stop distance prediction	-.030	.003	.065	-.056	-.012	.148	.173	.056	.162	.169	-.132	-.069	.385	.406

또한 잠재변수의 관측변수가 3개 미만인 경우 분석 신뢰도가 크게 낮아지기 때문에, 관측변수가 3개 미만으로 나타난 요인 6, 요인 9, 요인 11, 요인 13, 요인14는 제외하였다. 결과에 따라 요인1(차량특성), 요인2(위험운전행동), 요인3(근무특성), 요인5(교통사고위험성), 요인7(운전능력), 요인8(운전경력), 요인10(운전심리)을 분석 대상으로 최종 설정하였다. 또한 관측변수의 특성을 고려하여 요인별 잠재변수명을 설정하였다.

<Table 8> Results of Latent variable and observation variable setting

Latent variable (component)	Observation variable - Exploratory factor analysis (Application of this study)
Vehicle characteristics	Vehicle weight, Carrying capacity, Engine displacement, length of the vehicle, Axis of the vehicle, Width of the vehicle, Height of the vehicle
Dangerous driving behavior characteristics	# of rapid deceleration, # of rapid acceleration, # of sudden stops, # of sudden departures # of sudden departures, # of sudden passing
Working characteristics	Monthly driving times, Monthly number of trips, Monthly working days, More than 9 hours per month
Traffic accident characteristics	Scale of traffic accident damage, # of traffic accidents, Traffic accident damage costs
Driving ability characteristics	Driver's Perceptual tendencies, Driver's cognitive ability, Driver's attention ability, Driver age
Driving experience characteristics	Freight Vehicle - driving experience, Period of employment, Driving experience
Driving psychology characteristics	Realistic level, Emotion level, Social skills level

2. 구조방정식 모형 개발

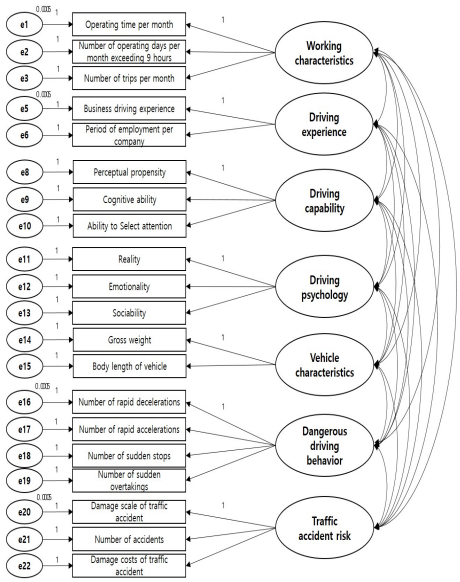
탐색적 요인분석을 통해 설정한 잠재변수별로 관측변수와의 관계를 확인적 요인분석을 실시하고 분석결과에 대한 모형 적합도 검정을 실시하여 최종적으로 모형을 구축하였다. 절대적합도 지수는 분석결과가 자체적으로 수용 가능한 적합도임을 설명해주며, 증분적합도 지수는 기준이 되는 null 모형에 비해 적합도가 높다는 것을 설명해주게 된다. 본 연구에서는 구조방정식 모델에서 많이 활용되는 적합도 지수를 적용하기로 하고 절대적합도 지수로는 GFI를, 증분적합도 지수로 CFI를 설정하였다. 두 지수 모두 ≥.90 이상인 경우 적합(양호)하다고 판단하며 7개 요인 모두 ≥.90 이상으로 분석되었다.

<Table 9> Results of the suitability test

Dimension	GFI	CFI
Vehicle characteristics	1.000	1.000
Dangerous driving behavior characteristics	.989	.991
Working characteristics	.920	.926
Traffic accident characteristics	.971	.985
Driving ability characteristics	1.000	1.000
Driving experience characteristics	.994	.991
Driving psychology characteristics	1.000	1.000

다음으로 측정모형 분석을 위해 측정변수와 잠재변수를 설정하고 잠재변수 간 공분산으로 연결하여 적합도 분석을 실시하였다. 측정모형 분석을 위해 각 구성개념의 확인적 요인분석 결과를 참고하여 측정변수와 잠재변수를 설정하고 잠재변수 간 공분산으로 연결하여 적합도 분석을 실시하였다. 초기 모델의 경우 절대

적합지수인 Q(χ^2/df)는 2.522로 판정 기준값인 3.0 보다 작았으며, GFI는 0.864로 판정 기준값 0.9보다 작은 것으로 나타났다. CFI는 0.907로 판정 기준값 0.9보다 컸으며 RMSEA는 판정 기준값인 0.10보다 작았다. 검증지수 4개중 GFI가 부적합하여 초기모형 값 중 다중상관차 SMC를 활용하여 재분석을 실시하고 수정 모형을 도출하였다. 월근무일수와 일반운전경력을 제외 한 수정모형의 경우 절대 적합지수인 Q(χ^2/df)는 2.213으로 판정 기준 값인 3.0 보다 작았으며, GFI는 0.900으로 판정 기준값 0.9와 같은 것으로 나타났다. CFI는 0.935로 판정 기준값 0.9보다 컸으며 RMSEA는 판정 기준값인 0.10보다 작았다. 검증지수 4개 모두 적합한 것으로 나타나 분석 모형이 적합하다고 판단할 수 있다.



<Fig. 3> Path Diagram of Measurement model

<Table 10> Results of the Model Fits (Initial model)

Dimension	Criteria	Value	Note
χ^2	p >.05	481.616 (df=191,p=.000)	-
Q(X2/df)	≤2.0	2.522	Suitable
GFI	≥.90	.864	Dis-Suitable
CFI	≥.90	.907	Suitable
RMSEA	≤.05	.071	Suitable

<Table 11> Results of the Model Fits (Modified model)

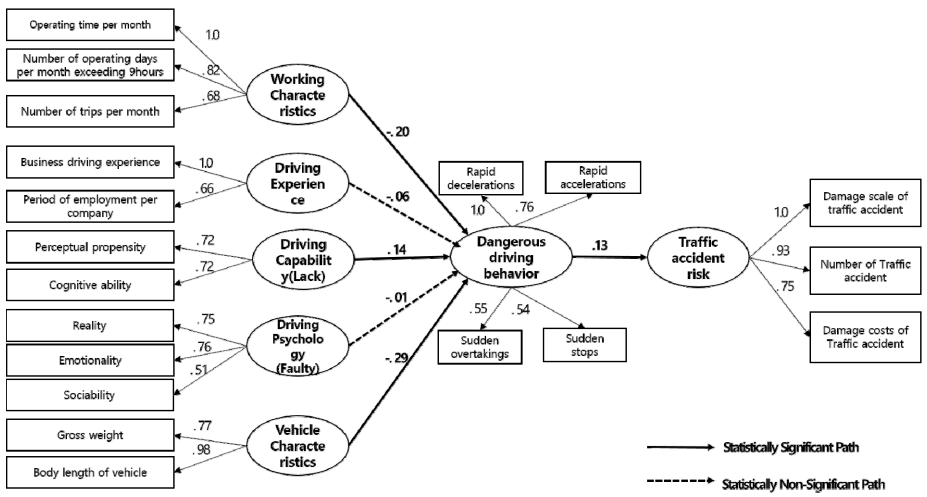
Dimension	Criteria	Value	Note
χ^2	p >.05	336.409 (df=152,p=.000)	-
Q(X2/df)	≤2.0	2.213	Suitable
GFI	≥.90	.900	Suitable
CFI	≥.90	.935	Suitable
RMSEA	≤.05	.063	Suitable

측정모형에서 검증된 변수를 활용하여 연구가설에 따라 연구모형을 설정하였다. 외생변수로 근무특성, 운전경력, 운전능력, 운전심리, 차량특성으로 설정하고 이에 1차적으로 영향을 받는 내생변수는 위험운전행동으로 설정하였다. 그리고 위험운전행동을 다시 외생변수로 설정한 후 교통사고 위험성을 내생변수로 설정하였으며 연구가설은 총 6개로 설정하여 구조방정식을 모델을 개발하였다. 근무특성의 경우 Amundsen and sagberg(2003)의 연구와 같이 운행거리 및 운행회수 근무강도가 높을수록 노출이 증가하여 위험운전행동이 증가하는 것으로 설정하였으며 차량특성으로 총중량과 차체길이에 따른 차량 조작 행위는 위험운전행동에 영향을 미칠 것으로 설정하였다.

1. 근무특성은 위험운전행동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다
2. 운전경력은 위험운전행동에 부(-)의 영향을 미칠 것이다
3. 나쁜 운전능력은 위험운전행동 정(+)의 영향을 미칠 것이다
4. 좋지 않은 운전심리는 위험운전행동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다
5. 차량특성은 위험운전행동에 부(-)의 영향을 미칠 것이다
6. 위험운전행동은 교통사고 위험성에 정(+)의 영향을 미칠 것이다

<Table 12> Regression Weight

Path			Weight	Standardize Weight	S.E.	C.R.	P
Dangerous behavior	<---	Working Characteristics	-.016	-0.199	.004	-3.645	***
Operating time per month	<---	Working Characteristics	1.000	1			
Number of operating days exceeding 9 hours	<---	Working Characteristics	.068	0.816	.003	24.539	***
Number of trips per month	<---	Working Characteristics	.476	0.679	.030	16.113	***
Dangerous behavior	<---	Driving experience	-.057	-0.059	.053	-1.061	.289
Business driving experience	<---	Driving experience	1.000	1			
Period of employment per company	<---	Driving experience	.190	0.66	.012	15.598	***
Dangerous behavior	<---	Lack of driving skills	1.260	0.143	.634	1.986	.047
Perceptual propensity	<---	Lack of driving skills	1.000	0.718			
Cognitive ability	<---	Lack of driving skills	1.015	0.721	.226	4.485	***
Dangerous behavior	<---	Driving psychology	-.084	-0.008	.661	-.127	.899
Reality	<---	Driving psychology	1.000	0.751			
Emotionality	<---	Driving psychology	1.048	0.763	.137	7.674	***
Sociability	<---	Driving psychology	.686	0.506	.098	7.031	***
Dangerous behavior	<---	Vehicle Characteristics	-.246	-0.289	.048	-5.143	***
Gross weight	<---	Vehicle Characteristics	1.000	0.766			
Body length of vechle	<---	Vehicle Characteristics	.318	0.981	.045	7.024	***
Risk of accidents	<---	Dangerous behavior	.028	0.131	.012	2.292	.022
Number of rapid decelerations	<---	Dangerous behavior	1.000	1			
Number of rapid accelerations	<---	Dangerous behavior	2.341	0.756	.117	20.075	***
Number of sudden stops	<---	Dangerous behavior	.264	0.537	.024	11.071	***
Number of sudden overtakings	<---	Dangerous behavior	.248	0.548	.022	11.376	***
Damage scale of rtaffic accident	<---	Risk of accidents	1.000	1			
Number of accidents	<---	Risk of accidents	.585	0.929	.013	43.591	***
Damage costs of traffic accident	<---	Risk of accidents	2.635	0.745	.136	19.387	***



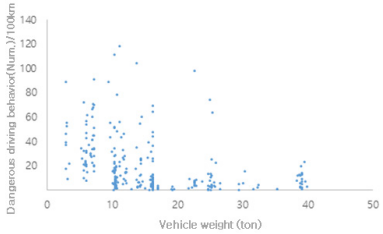
<Fig. 4> Path Diagram of SEM

개발 모형의 적합도 검증결과, CMIN(χ^2)/df)는 2.169로 3보다 작아 판정 기준값을 만족하였으며, GFI, CFI, RMSEA 값도 각각 0.907, 0.942, 0.062로 판정기준 값을 만족하는 것으로 나타났으며 비표준화 계수를 활용하여 모수에 대한 추정치 및 유의확률을 확인하고 표준화 계수를 활용하여 모형의 효과성을 판단하였다. 잠재변수 간 경로계수에 대한 유의성 검증결과 근무특성→위험운전행동, 운전능력→위험운전행동, 차량특성 → 위험운전행동, 위험운전행동→사고위험성은 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으나, 운전경력→위험운전행동, 운전심리→위험운전행동은 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타났다.

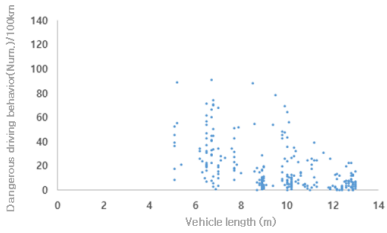
<Table 13> Results of the Model Fits

Dimension	Criteria	Value	Note
χ^2	p >.05	297.089(df=137,p=.000)	-
Q(X2/df)	≤2.0	2.169	Suitable
GFI	≥.90	.907	Suitable
CFI	≥.90	.942	Suitable
RMSEA	≤.05	.062	Suitable

차량특성과 위험운전행동과의 표준화 경로계수 값은 -0.289로 나타났으며, 통계적으로 유의미하게 나타났다. 차량특성에 영향을 미치는 변수는 차체길이, 총중량 순으로 높게 나타났다. 화물자동차는 차체가 길고 총중량이 클수록 많은 화물을 적재하게 되며 이로 인해 차량조작이 어렵고 주변 상황에 대한 사각지대 발생, 돌발상황에 따른 제동거리 증가, 급제동시 적재화물의 파손 우려 등으로 운전자가 차량크기가 클수록 주의운행을 하는 것으로 판단된다.



<Fig. 5> Scatter plot of dangerous driving behavior -length of the vehicle

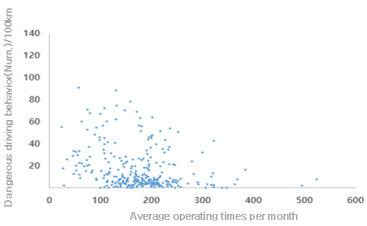


<Fig. 6> Scatter plot of dangerous driving behavior - weight of the vehicle

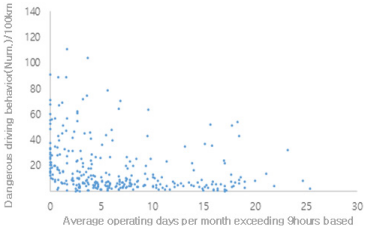
현재 차량 대형화물차 중심의 노상점검 및 집중단속을 실시하고 있으나 중·소형화물차로 확대하여 단속활동을 강화할 필요성이 있다. 교통사고 발생시 규모가 큰 차량일수록 치사율 등 피해는 커질 수 있으나 교통사고에 영향을 미치는 위험운전행동에 있어서는 규모가 작은 차량이 더 위험운전행동을 많이 하는 것으로 나타났다. 따라서 앞으로는 화물자동차 규모에 따른 위험운전행동에 대한 인식전환과 함께 이를 반영한 사업용 화물차량에 대한 안전관리대책의 변화가 필요하다.

화물자동차 운전자의 운전능력(부족)과 위험운전행동과의 표준화 경로계수 값은 0.143이며 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 운전능력에 영향을 미치는 변수는 인지능력, 지각성향 순으로 높게 나타났으며 이는 운전능력(인지능력 등)이 나쁠수록 선행차량 급정지, 교차로 신호 변경 등 위급한 상황에 대한 인지가 늦어지고 그로인해 대응시간이 부족해짐에 따라 급감속 등 위험운전행동이 증가하는 것으로 판단이 된다. 사

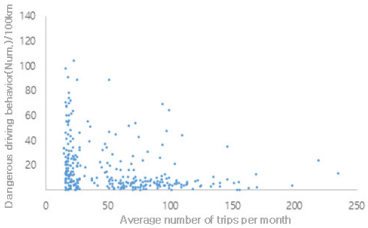
업용자동차를 운전하려는 운전자는 필수적으로 운전적성정밀검사를 받아야 하는데, 앞으로 화물회사에서는 운전자 채용 및 안전관리시 중점적으로 이와 같은 항목에 대한 현황파악 및 그에 대한 교육 및 지도가 필요하다고 판단된다. 화물자동차 운전자의 근무특성과 위험운전행동의 표준화 경로계수값은 -0.199이며 통계적으로 유의하게 나타났으나 양(+)의 관계가 아닌 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 근무특성에 영향을 미치는 변수는 월평균 운행시간, 9시간 초과 근무일수, 운행회수 순으로 높게 나타났다.



<Fig. 7> Scatter plot of dangerous driving behavior - Average operating times per month



<Fig. 8> Scatter plot of dangerous driving behavior - Average operating days per month exceeding 9hours based



<Fig. 9> Scatter plot of dangerous driving behavior - Average number of trips per month

선행연구 등에서 일반적으로 근무특성이 높아지면 위험운전행동이 증가하고 이로 인해 교통사고위험성이 높아지는 것으로 제시하고 있다. 본 연구에서 상반된 결과가 도출된 것에 대해서는 우리나라 화물운송업의 특징이 반영된 것으로 판단된다. 정기적으로 지역 간 장거리 운행이 많은 운전자일수록 연속류 특성을 갖는 고속도로를 많이 이용하게 된다면 운행시간이 증가하더라도 위험운전행동은 적어질 수 있다. 또한, 화물자동차는 최고속도제한 장치가 장착되어 고속도로에서는 속도변화가 크지 않아 그만큼 안정적으로 운행할 수 있는 여건이 조성될 수 있다. 반면, 일정 지역내에서 단거리 운행을 하는 운전자 일수록 차량이 혼잡한 상태에서 신호 교차로 등 단속류에서 운행을 하게 되어 급감속 등 위험운전행동 건수는 확연하게 증가할 수 있다. 위험운전행동과 교통사고위험성과의 표준화 경로계수는 0.131로 나타났으며, 통계적으로 유의미하게 나타났다. 위험운전행동에 영향을 미치는 변수는 급감속건수, 급가속건수, 급추월건수, 급정지건수 순으로 높게 나타났다. 교통사고 위험성에 영향을 미치는 변수는 교통사고피해규모, 교통사고건수, 교통사고 손해액 순으로 높게 나타났다. 운전 중 교통사고가 발생한다는 것은 선행하는 차량과의 거리가 0이 되는 것을 의미한다. 앞 차량과의 거리가 가까운 상황에서 가장 많이 발생할 수 있는 현상은 갑작스럽게 속도를 줄이는 것이기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 판단된다. 현재 위험운전행동 항목으로 11개 가 설정되어 있으며 그 동안 전체 위험운전행동건수를 기준하여 교통사고의 위험성을 판단하여 운전자 관리를 하였다. 그러나 본 연구결과 11개의 위험운전행동 중 4개 항목이 교통사고 위험성에 영향이 큰 것으로 나타났고 이중 에서도 급감속 건수가 가장 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 교통사고 위험성이 높은 운전자 선정 등에 위와 같이 위험운전행동(4가지) 기준을 적용하면 사고예방 효과가 클 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 화물자동차의 운행특성과 위험운전행동 및 교통사고 위험성 간의 인과관계를 분석하였다.

화물자동차 운전자 303명을 대상으로 운전자별 근무특성, 운전경력, 운전능력, 운전심리, 차량특성(규모), 위험운전행동, 교통사고와 관련된 객관적 자료를 구조방정식을 통해 분석하였으며 이는 기존 설문조사 및 단편적 분석에 비해 종합적이고 포괄적인 분석으로 실증 분석의 의의가 있다. 급감속, 급가속, 급추월, 급정지 4가지 위험행동이 교통사고와 연관성이 높으며, 차량크기는 위험운전행동과 부(-)의 영향 관계로 나타나 우선적으로 현재 운수회사 점검은 대형차량(5톤 이상) 중심으로 시행하고 있어 중·소형 차량을 포함한 확대가 필요하며 노상점검도 화물자동차 전 차량을 대상으로 확대가 필요하다. 이를 위해 구체적 방안에 대한 연구와 사회적 논의가 필요하다고 판단된다. 운전능력 부족은 위험운전행동에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며 주변환경에 대한 인지가 늦은 운전자 일수록 위험운전행동이 많은 것으로 도출되었다. 근무특성은 위험운전행동에 부(-)의 영향을 미쳤으며 위험운전행동은 교통사고 위험성에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 향후 도시부와 지방부 등 운행도로의 특성에 따라 위험운전행동 및 교통사고 결과가 다를 수 있기 때문에 화물자동차의 운행 구간을 구분한 자료 구축을 통해 보완할 필요가 있으며 운행특성을 디지털 운행기록 등 정량적 자료만을 가지고 분석을 실시하였으나 보다 실효성 있는 연구 결과 도출을 위해 근무만족도 등 운전자의 개인별 특성(정성적)을 함께 고려하여 종합적인 분석을 실시할 필요가 있다.

REFERENCES

Alavi, S., Mohammadi, S. and Soori, M. R.(2017), “The cognitive and psychological factors(personality, driving behavior, and mental illnesses) as predictors in traffic violations”, *Iranian Journal of Psychiatry*, vol. 12, no. 2, pp.78-86.

Amundsen, A. H. and Sagberg, F.(2003), *Hours of service regulations and the risk of fatigue-and sleep-related road accidents*, Institute of Transport Economics(Norway), p.17.

Chen, C. and Xie, Y.(2014), “Modeling the safety impacts of driving hours and rest breaks on truck drivers considering time-dependent covariates”, *Journal of Safety Research*, vol. 51, pp.57-63.

Choi, J. W. and Jung, H. Y.(2011), “Measures of reducing traffic accidents by aging bus drivers”, *Journal of Civil Engineering*, vol. 31, no. 3, pp.391-401.

Crundall, D., Underwood, G. and Chapman, P.(2002), “Attending to the peripheral world while driving”, *Applied Cognitive Psychology*, vol. 16, no. 4, pp.459-475.

Gulliver, P. and Begg, D.(2007), “Personality factors as predictors of persistent risky driving behavior and crash involvement among young adults Injury Prevention”, *Injury Prevention*, vol. 13, no. 6, pp.376-381.

Jo, G. H.(2013), *The relation of commercial motor vehicle driver's fatigue and traffic accident*, Master's Thesis, Ewha Womans University.

Kwon, M. J.(2014), *Development of structural model for risky driving behaviors of elderly drivers*, Doctoral Dissertation, Ajou University.

Lee, J. G.(2014), *A study on deceleration and acceleration behavior according to the driving duration of the corporation taxi*, Master's Thesis, Seoul National University.

Lee, S. J.(2012), *Study on the effectiveness of driver training for reduction in dangerous driving behavior*, Master's Thesis, Seoul National University.

Lim, J. B., Lee, S. B., Joo, S. K. and Park, W. W.(2014), “A Study on Clarifying Relationship between

the Traffic Culture Index and Traffic Accidents Using Structural Equation Model", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 34, no. 5, pp.1571-1579.

Lin, T., Jovanis, P. and Yang, C.(1993), "Modeling the safety of truck driver service hours using time dependent logistic regression", *Transportation Research Record*, vol. 1407, pp.1-10.

Loehlin, J. C.(2004), *Latent variable models: An introduction to factor, path, and structural equation analysis* (4th ed.), Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Oh, J. S. and Lee, S. Y.(2009), "A Study of the Weight value to Risky Driving Type", *International Journal of Highway Engineering*, vol. 11, no. 1, pp.105-115.

Park, J. W.(2018), *An Empirical Study on the Dangerous Behavior Analysis and Discrimination of Dangerous Driver for Cargo Truck*, Doctoral Dissertation, Myongji University.

Seo, S. M.(2015), "A Study on the Dangerous Driving Behaviors by Driver Behavior Analysis", *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 5, pp.13-22.

Traffic Accident Analysis System, http://taas.koroad.or.kr, 2021.11.04.

Won, D. W.(2020), *Model Development of Traffic Accident Risk Prediction for Enterprises using System Dynamics: Focused on Chartered Bus of Passenger Transport Service Enterprises*, Doctoral Dissertation, University of Seoul.